

## **GYROLASER A ETAT SOLIDE STABILISE ET A MILIEU LASER ANISOTROPE**

Le domaine de l'invention est celui des gyrolasers à état solide utilisés en tant que centrale inertielle. Ce type d'équipement est notamment  
5 utilisé pour les applications aéronautiques.

Le gyrolaser, mis au point il y a une trentaine d'année, est largement commercialisé et utilisé de nos jours. Son principe de fonctionnement est fondé sur l'effet Sagnac, qui induit une différence de  
10 fréquence  $\Delta\nu$  entre les deux modes optiques d'émission se propageant en sens opposé dits contre-propageants d'une cavité laser en anneau bidirectionnelle animée d'un mouvement de rotation uniforme. Classiquement, la différence de fréquence  $\Delta\nu$  est égale à :

15  $\Delta\nu = 4A\Omega / \lambda L$

où L et A sont respectivement la longueur et l'aire de la cavité ;  $\lambda$  est la longueur d'onde d'émission laser hors effet Sagnac ;  $\Omega$  est la vitesse de rotation de l'ensemble. La mesure de  $\Delta\nu$ , obtenue par analyse spectrale du  
20 battement des deux faisceaux émis, permet de connaître la valeur de  $\Omega$  avec une très grande précision.

On démontre également que le gyrolaser ne fonctionne correctement qu'au-delà d'une certaine vitesse de rotation nécessaire pour éviter le couplage entre modes. La plage de vitesses de rotation située en  
25 deçà de cette limite est appelée classiquement zone aveugle.

La condition d'observation du battement, et donc de fonctionnement du gyrolaser, est la stabilité des intensités émises dans les deux directions. Son obtention n'est pas, à priori, chose aisée en raison du phénomène de compétition entre modes, qui fait que l'un des deux modes  
30 contre-propageants peut avoir tendance à monopoliser le gain disponible au détriment de l'autre mode.

Ce problème est résolu dans les gyrolasers usuels par l'utilisation d'un milieu d'amplification gazeux, généralement un mélange d'Hélium et de Néon, fonctionnant à température ambiante. La courbe de gain du mélange gazeux présente un élargissement Doppler dû à l'agitation thermique des  
5 atomes. Les seuls atomes susceptibles de fournir du gain à un mode de fréquence donnée sont ainsi ceux dont la vitesse induit un décalage Doppler de la fréquence apparente de l'onde qui amène l'atome à résonance avec le mode en question. En forçant l'émission laser à avoir lieu ailleurs qu'au centre de la courbe de gain par ajustement piézoélectrique de la longueur du  
10 chemin optique, on s'assure que les atomes à résonance avec la cavité ont une vitesse non nulle. Ainsi, les atomes pouvant contribuer au gain dans l'une des deux directions ont des vitesses opposées à celles des atomes pouvant contribuer au gain dans la direction opposée. Tout se passe donc comme s'il y avait deux milieux amplificateurs indépendants, un pour chaque  
15 direction. La compétition entre les modes ayant ainsi disparue, on obtient une émission bidirectionnelle stable et équilibrée. En pratique, pour pallier d'autres problèmes, on utilise un mélange de deux isotopes différents du Néon.

Le caractère gazeux du milieu amplificateur est toutefois une  
20 source de complications techniques lors de la réalisation du gyrolaser notamment en raison de la grande pureté de gaz requise et d'usure prématurée lors de son utilisation, usure liée notamment aux fuites de gaz, à la détérioration des électrodes par les hautes tensions utilisées pour établir l'inversion de population.

25

Actuellement, il est possible de réaliser un gyrolaser à état solide fonctionnant dans le visible ou le proche infra-rouge en utilisant, par exemple, un milieu amplificateur à base de cristaux de YAG (Yttrium-Aluminium-Grenat) dopé au Néodyme à la place du mélange gazeux Hélium-Néon ; le pompage optique étant alors assuré par des diodes lasers  
30 fonctionnant dans le proche infra-rouge. On peut également utiliser comme milieu amplificateur un matériau semi-conducteur, une matrice cristalline ou un verre dopé avec des ions appartenant à la classe des terres rares (Erbium, Ytterbium, ...). On supprime ainsi, de facto, tous les problèmes  
35 inhérents à l'état gazeux du milieu amplificateur. Toutefois, une telle

réalisation est rendue très difficile par le caractère homogène de l'élargissement de la courbe de gain des milieux solides qui provoque une très forte compétition entre modes et l'existence d'un grand nombre de régimes de fonctionnement différents, parmi lesquels le régime bidirectionnel  
5 équilibré en intensité et non verrouillé en fréquence dit "régime de battement" est un cas particulier et instable (N. Kravtsov, E. Lariotsev, Self-modulation oscillations and relaxations processes in solid-state ring lasers, Quantum Electronics 24(10) 841-856 (1994)). Cet obstacle physique majeur a fortement limité jusqu'à maintenant le développement des gyrolasers à état  
10 solide.

Pour pallier cet inconvénient, une solution technique consiste à atténuer les effets de la compétition entre modes contre-propageants dans un laser en anneau à état solide en introduisant dans la cavité des pertes  
15 optiques dépendant du sens de propagation du mode optique et de son intensité. Le principe est de moduler par un dispositif d'asservissement ces pertes en fonction de la différence d'intensité entre les deux modes émis afin de favoriser le mode le plus faible au détriment de l'autre, de façon à constamment asservir l'intensité des deux modes contre-propageants soit à  
20 une valeur commune, soit à une différence constante. Techniquement, la réalisation du dispositif d'asservissement peut se fonder sur la combinaison de trois dispositifs optiques agissant sur l'état de polarisation des modes optiques. Ces trois dispositifs sont un polariseur linéaire, un rotateur réciproque ou une lame d'onde et un rotateur non réciproque (demande de  
25 brevet français 03 03645).

L'objet de l'invention est de proposer un dispositif d'asservissement pour gyrolaser à l'état solide comportant un ensemble optique intracavité permettant de réguler l'intensité des modes optiques  
30 contre-propageants, basé non plus sur des pertes optiques dépendant du sens de propagation, mais sur un gain optique dépendant du sens de propagation du mode optique et de son intensité. Le dispositif d'asservissement module alors le gain optique en fonction de la différence d'intensité entre les deux modes émis afin de favoriser le mode le plus faible  
35 au détriment de l'autre, de façon à constamment asservir l'intensité des deux

modes contre-propageants à une valeur commune ou à une différence constante.

Plus précisément, l'invention a pour premier objet un gyrolaser  
5 comportant au moins une cavité optique en anneau, un milieu amplificateur à l'état solide et un système d'asservissement, deux modes optiques dits contre-propageants pouvant se propager en sens inverse l'un de l'autre à l'intérieur de ladite cavité optique, le système d'asservissement étant destiné à asservir l'intensité des deux modes contre-propageants, caractérisé en ce  
10 que le milieu amplificateur est anisotrope et que le système d'asservissement comporte au moins, à l'intérieur de la cavité, un ensemble optique comprenant un élément optique agissant sur l'état de polarisation des modes contre-propageants et un rotateur optique à effet non réciproque agissant également sur l'état de polarisation des modes contre-propageants, au moins  
15 l'un des effets dudit élément optique ou dudit rotateur optique étant réglable.

L'élément optique est soit un rotateur optique réciproque soit une lame d'onde. Concernant le système d'asservissement, deux grands choix techniques sont alors possibles :

- 20 • soit l'effet de la rotation réciproque ou de la lame d'onde est fixe, dans ce cas, l'effet de la rotation non réciproque doit être réglable pour que le dispositif d'asservissement puisse fonctionner.
- 25 • soit l'effet de la rotation non réciproque est fixe, dans ce cas, l'effet de la rotation réciproque ou de la lame d'onde doit être réglable pour que le dispositif d'asservissement puisse fonctionner.

L'invention a pour second objet un gyrolaser comportant au moins une cavité optique en anneau, un milieu amplificateur à l'état solide et un  
30 système d'asservissement, deux modes optiques dits contre-propageants pouvant se propager en sens inverse l'un de l'autre à l'intérieur de ladite cavité optique, le système d'asservissement étant destiné à asservir l'intensité des deux modes contre-propageants, caractérisé en ce que le milieu amplificateur est anisotrope, que la cavité est non plane, c'est-à-dire  
35 que les deux modes contre-propageants ne se propagent pas dans un plan

unique et que le système d'asservissement comporte au moins, à l'intérieur de la cavité, un rotateur à effet non réciproque réglable.

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages  
5 apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre donnée à titre non limitatif et grâce aux figures annexées parmi lesquelles :

- la figure 1 représente le principe de l'effet Faraday non réciproque.
- 10 • les figures 2a et 2b représentent le principe général du dispositif d'asservissement selon le premier mode de réalisation selon l'invention.
- la figure 3 représente le schéma général du dispositif d'asservissement selon le premier mode de réalisation selon l'invention.
- 15 • Les figures 4a et 4b représentent le principe général de la rotation réciproque induite par une cavité non coplanaire.
- la figure 5 représente la vue générale d'une cavité monolithique.
- 20 • la figure 6 représente la vue générale d'un gyrolaser comprenant une cavité monolithique.
- la figure 7 représente le schéma de principe d'une cavité non planaire et monolithique.
- 25 • les figures 8a et 8b représentent les schémas de principe de la création d'un champ magnétique variable dans une cavité monolithique à effet Faraday.
- la figure 9 représente le schéma de principe de la création d'un champ magnétique fixe dans une cavité monolithique à effet Faraday.

30 Une rotation optique de la polarisation d'une onde est dite non réciproque lorsque les effets de rotation de la polarisation se cumulent après un aller-retour de ladite onde dans un composant optique présentant cet effet. Le composant optique est appelé rotateur optique à effet non réciproque. Par exemple, les matériaux à effet Faraday sont des matériaux  
35 qui, lorsqu'ils sont soumis à un champ magnétique, font tourner le plan de

polarisation des faisceaux qui les traversent. Cet effet n'est pas réciproque. Ainsi, le même faisceau venant en sens inverse subira une rotation de son plan de polarisation dans le même sens. Ce principe est illustré en figure 1. La direction de polarisation 51 du faisceau 5 polarisé linéairement subit une  
5 rotation d'un angle  $\beta$  lorsqu'elle traverse le composant à effet Faraday 8 dans le sens direct (schéma supérieur de la figure 1). Si l'on réinjecte dans le composant à effet Faraday un faisceau identique 6 se propageant dans le sens opposé et dont la direction de polarisation est initialement tournée de  $\beta$ , sa direction de polarisation 51 tourne à nouveau de l'angle  $\beta$  en traversant le  
10 composant, l'angle de rotation total faisant alors  $2\beta$  après un aller-retour (schéma central de la figure 2a). Dans un rotateur classique à effet réciproque 7, la direction de polarisation 51 aurait tourné de  $-\beta$ , de façon à retrouver sa position initiale (schéma inférieur de la figure 1).

15 Le principe de la combinaison d'une rotation réciproque et d'une rotation non réciproque est illustré sur l'exemple des figures 2a et 2b dans le cas de faisceaux incidents 5 et 6 polarisés linéairement. L'indication de direction de polarisation des faisceaux optiques a été représentée par une flèche. Le premier élément 7 à effet réciproque fait tourner la polarisation de  
20 la lumière d'un angle  $\alpha$  dans le sens direct et le second élément 8 fait tourner la polarisation d'un angle  $\beta$  également dans le sens direct. L'élément 7 peut notamment être un rotateur optique naturel comme une lame de quartz. Ledit élément 7 peut être également une lame d'onde, comme par exemple une lame demi-onde tournée d'un angle  $\alpha/2$  par rapport à la direction de l'onde  
25 incidente. L'élément 8 peut être un rotateur de Faraday comme précédemment cité. Soit un premier faisceau optique 5 polarisé linéairement verticalement et traversant successivement le premier et le second élément comme illustré en figure 2a, après la traversée du premier élément, sa direction de polarisation a tourné d'un angle  $\alpha$  et après la traversée du  
30 second élément, sa direction de polarisation a tourné d'un angle  $\theta_{\text{direct}}$  égal à  $\alpha + \beta$ . Soit un second faisceau optique 6 polarisé linéairement et traversant successivement en sens inverse du premier faisceau 5 le second puis le premier élément comme illustré en figure 2b, après la traversée du second élément, sa direction de polarisation a tourné d'un angle  $-\beta$  et après la

traversée du premier élément, sa direction de polarisation a tourné d'un angle  $\theta_{inverse}$  égal à  $\alpha-\beta$ .

Un milieu laser anisotrope présente la particularité d'avoir une  
5 émission stimulée polarisée selon une direction privilégiée. Ainsi, pour qu'un faisceau optique traversant ledit milieu soit amplifié avec un gain maximum, il doit être polarisé dans cette direction privilégiée. Dans une direction perpendiculaire à cette direction privilégiée, le milieu laser peut présenter un gain mais en général, la valeur de ce gain est très voisine de l'unité et elle ne  
10 permet pas d'obtenir un effet laser. A titre d'exemple non limitatif, on citera, comme milieu laser anisotrope de ce type, des milieux cristallins comportant une matrice  $YVO_4$  ou une matrice YLF comportant des ions Néodyme  $Nd^{3+}$ .

La figure 3 décrit le principe général du gyrolaser selon le premier  
15 mode de réalisation selon l'invention. Il comporte une cavité laser à 3 miroirs 11, 12 et 13, ladite cavité comprenant un rotateur réciproque ou une lame d'onde 7, un rotateur non réciproque 8 similaires à ceux des figures 2a et 2b et un milieu laser anisotrope 19. A titre d'exemple, le premier élément 7 à effet réciproque fait tourner la polarisation de la lumière d'un angle  $\alpha$  dans le sens direct et le second élément 8 fait tourner la polarisation d'un angle  $\beta$   
20 également dans le sens direct. Un mode optique polarisé linéairement dans la même direction de polarisation que celle de l'émission stimulée dans le milieu laser est amplifié avec un gain maximal et peut ainsi osciller de façon efficace. Lorsqu'un tel mode intracavité effectue un tour complet de cavité en subissant d'abord l'effet réciproque puis l'effet non réciproque, son plan de  
25 polarisation tourne d'un angle  $\theta_{direct}$  égal à  $\alpha+\beta$  dans un sens appelé sens direct et d'un angle  $\theta_{inverse}$  égal à  $\alpha-\beta$  dans le sens opposé. Dans le sens direct, seule la projection de la polarisation parallèle à la direction de polarisation de l'émission stimulée est amplifiée. Cette projection est  
30 proportionnelle à l'angle  $\theta_{direct}$ . Lorsqu'un mode optique intracavité effectue un tour complet en sens inverse, seule la projection de la polarisation parallèle à la direction de polarisation de l'émission stimulée est également amplifiée. Cette projection est proportionnelle à l'angle  $\theta_{inverse}$ .

Par conséquent, le gain de l'amplification dans le milieu laser est  
35 différent selon le sens de propagation et dépend directement de l'importance

des effets subis par la polarisation des deux modes. Il est ainsi possible de faire varier de façon différente les intensités des modes contre-propageants en faisant varier au moins l'une des deux valeurs des effets subis par les polarisations des deux modes. Pour réaliser cette fonction d'asservissement, une partie des faisceaux 5 et 6 est prélevée, par exemple, au moyen de deux lames semi-réfléchissantes 43 et envoyée sur les deux photo-détecteurs 42 comme indiqué sur la figure 3. Les signaux issus de ces deux photo-détecteurs sont représentatifs de l'intensité lumineuse des deux modes optiques contre-propageants 5 et 6. Lesdits signaux sont envoyés au module électronique d'asservissement 4 qui pilote, en fonction de l'intensité des signaux reçus, le dispositif à effet variable comprenant les éléments 7 et 8 (flèches en pointillés sur le schéma). Cela va se traduire par des variations des états de polarisation des deux modes contre-propageants 5 et 6. Ces variations d'états de polarisation entraînent alors des gains optiques différents sur les modes optiques contre-propageants 5 et 6 chaque fois qu'après avoir effectué une rotation complète, les modes traversent de nouveau le milieu amplificateur 19. Ces gains sont fonction de l'intensité des faisceaux de sortie. Si l'un des faisceaux a une intensité lumineuse supérieure à l'autre, son intensité sera moins augmentée par le dispositif d'asservissement de façon à ramener les faisceaux de sortie au même niveau d'intensité. On stabilise ainsi le régime bidirectionnel en intensité.

Bien entendu, le dispositif selon l'invention peut être adapté à toute combinaison de rotations réciproques, de lames d'onde, de polariseurs et de rotateurs non réciproques agissant sur l'état de polarisation de la lumière telle que ladite combinaison puisse être transformée en variation de gain par le milieu laser. Dans une cavité réelle, différents types de composants (miroirs de la cavité, milieu amplificateur,...) peuvent en outre influencer l'état de polarisation des faisceaux optiques ainsi que leur intensité. Pour connaître exactement les paramètres des faisceaux contre-propageants après un tour complet de la cavité, on utilise le formalisme des matrices de Jones. Celui-ci consiste à représenter l'influence d'un composant sur l'état de polarisation par une matrice 2x2 référencée dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation des faisceaux. En général, les axes du repère choisi correspondent aux axes principaux d'un polariseur

intra-cavité, ce qui facilite la représentation mathématique. Pour connaître l'influence résultante de l'ensemble des composants intra-cavité, il suffit alors de faire le produit des différentes matrices représentatives de ces composants. Ce produit n'étant pas commutatif et l'expression de certaines

5 matrices de Jones dépendant du sens de propagation, l'influence pourra être différente selon le sens de propagation des faisceaux. On démontre qu'au moins un rotateur non réciproque, et un rotateur réciproque ou une lame d'onde ou un polariseur sont nécessaires pour obtenir cet effet.

10 Il existe différentes méthodes pour réaliser des rotateurs réciproques fixes.

L'élément optique peut être un polariseur linéaire dont la direction de polarisation n'est pas parallèle à la direction de gain maximal du milieu amplificateur.

15 Il est également possible d'obtenir une rotation réciproque fixe en utilisant un rotateur optique naturel comme une lame optique biréfringente, obtenue par exemple à partir d'un matériau naturellement biréfringent comme le quartz.

On peut aussi agir sur les états de polarisation en utilisant une

20 lame d'onde. Bien entendu, cette lame d'onde peut être rendue solidaire d'un des miroirs de la cavité de façon à simplifier la réalisation du dispositif.

Dans un second mode de réalisation selon l'invention, on peut notamment utiliser comme il est décrit sur les figures 4a et 4b une cavité non

25 plane à la place d'un élément optique agissant sur l'état de polarisation des modes contre-propageants. Soit une cavité 1 comportant au moins quatre miroirs 11, 12, 13 et 14. Il est possible de les disposer comme indiqué sur la figure 4a de telle sorte que les faisceaux contre-propageants se propagent dans un plan (plan (X,Y) de la figure 4a). Dans ce cas, si ces

30 faisceaux sont polarisés linéairement, la direction de polarisation se conserve. Il est également possible de les disposer de telle sorte que les faisceaux contre-propageants ne se propagent plus dans un plan comme il est indiqué, par exemple, sur la figure 4b où le miroir 12 a été déplacé sur l'axe des Z. Dans ce cas, on démontre que la direction de polarisation des

35 faisceaux contre-propageants a tourné d'un angle dépendant de la géométrie

de la cavité lorsque le faisceau a fait un tour complet de la cavité. (A.C. Nilsson, E.K.Gustafson and R.L.Byer – Eigenpolarization Theory of Monolithic Nonplanar Ring Oscillators – IEEE Journal of Quantum Electronics 25 (4) 767-790 (1989)). Cette propriété peut être utilisée pour  
... 5 réaliser des cavités selon l'invention. Dans ce cas, il reste à disposer un rotateur non réciproque variable à l'intérieur de la cavité non-planaire.

Pour réaliser la fonction optique équivalente à celle d'une lame d'onde variable, une solution possible consiste à utiliser un dispositif à  
10 biréfringence contrôlable. Pour introduire une biréfringence contrôlable, on peut utiliser:

- des céramiques au Plomb, Lanthane, Zirconiim et Titane ( $Pb_{1-x}La_xZr_{1-y}Ti_yO_3$ ) dont on peut contrôler à la fois l'orientation des axes neutres et la biréfringence dans une zone en l'entourant d'électrodes et  
15 en appliquant un champ électrique de quelques centaines de volts. Ces céramiques ont des épaisseurs de moins d'un millimètre, sont transmissives dans le proche infrarouge, ont des tensions de commandes de quelques centaines de volts et un temps de réponse de l'ordre de la microseconde compatible avec la bande passante  
20 nécessaire évaluée de quelques dizaines de KiloHertz.

- des valves à cristaux liquide d'un millimètre d'épaisseur environ (dont la zone active a une épaisseur d'environ 20 microns) ayant des tensions de commande de quelques dizaine de volts.

- des cellules de Pockels dont on modifie le déphasage en changeant la tension appliquée (typiquement 1kiloVolts pour que le déphasage obtenu soit égal à  $\pi/2$ ). Ces cellules, constituées de KDP ou de Niobate de Lithium, par exemple, sont identiques à celles  
25 utilisées pour déclencher un laser. Elles ont des épaisseurs de un à deux centimètres et des pertes d'insertions faibles.

Pour réaliser une rotation non réciproque, on utilise généralement des dispositifs magnéto-optiques, par exemple à effet Faraday qui nécessitent pour fonctionner la génération d'un champ magnétique. Ces éléments à effet Faraday peuvent être notamment réalisés directement sur  
35 les miroirs de la cavité au moyen de couches de matériau magnéto-optiques.

Si l'on souhaite obtenir une rotation non réciproque fixe, il suffit de réaliser un champ magnétique au moyen de circuits magnétiques à base d'aimants permanents. Si l'on souhaite obtenir un effet non réciproque variable, il suffit alors de créer un champ magnétique variable, par exemple, au moyen d'une bobine d'induction entourant le matériau à effet Faraday commandée par une intensité électrique réglable.

Lorsque le milieu s'y prête, il est avantageux d'utiliser le même élément comme milieu amplificateur et comme milieu à effet Faraday.

Avantageusement, un laser à état solide selon l'invention est réalisé à partir d'une cavité monolithique comme indiqué sur les figures 5 et 6. Cette configuration présente plusieurs avantages.

Les miroirs 11, 12 et 13 sont alors directement déposés sur les faces de la cavité monolithique. La cavité peut être réalisée directement dans le matériau servant de milieu amplificateur. La figure 6 montre un schéma de réalisation d'un gyrolaser selon l'invention utilisant une cavité de ce type. Le matériau 19 de la cavité sert également de milieu amplificateur. Dans ce cas, le pompage optique est réalisé au moyen d'une diode laser 2 dont le faisceau 22 est focalisé à l'intérieur du milieu amplificateur au moyen d'une lentille 21. Les éléments 7 et 8 sont représentés en pointillés sur cette figure.

La cavité monolithique peut également être non-planaire. On obtient ainsi directement la rotation réciproque par la forme même de la cavité. Dans l'exemple de la figure 7, la cavité est une lame épaisse comportant deux faces planes et parallèles 195 et 196 entre elles et quatre faces latérales inclinées 191, 192, 193 et 194. La forme générale de la lame est celle d'un coin tronqué. L'inclinaison des faces latérales est choisie de sorte que les faisceaux lumineux parcourent la cavité suivant un losange brisé comme indiqué sur la figure 7.

Un des autres avantages de la cavité monolithique est d'utiliser le milieu amplificateur 19 comme milieu à effet Faraday. Dans ce cas, l'obtention d'un champ magnétique variable est obtenu en entourant la cavité monolithique d'une bobine d'induction 73 comme illustré en figure 8a. Il est également possible, afin d'améliorer l'efficacité du champ magnétique de n'entourer qu'une partie de la cavité avec une ou plusieurs bobines d'induction comme illustré en figure 8b. Dans ce cas, la cavité doit être

percée pour laisser passer les fils électriques constituant les bobines d'induction.

L'obtention d'un champ magnétique fixe est obtenue en disposant sur la cavité monolithique d'aimants permanents 74 comme illustré en figure

5 9.

## REVENDICATIONS

5

1. Gyrolaser comportant au moins une cavité optique (1) en anneau, un milieu amplificateur (19) à l'état solide et un système d'asservissement (4, 42, 43), deux modes optiques (5, 6) dits contre-propageants pouvant se propager en sens inverse l'un de l'autre à l'intérieur de ladite cavité optique, le système d'asservissement étant destiné à asservir l'intensité des deux modes contre-propageants, caractérisé en ce que le milieu amplificateur (19) est anisotrope et que le système d'asservissement comporte au moins, à l'intérieur de la cavité, un ensemble optique comprenant au moins un élément optique (7) agissant sur l'état de polarisation des modes contre-propageants et un rotateur à effet non réciproque (8) agissant également sur l'état de polarisation des modes contre-propageants, au moins l'un des effets dudit élément optique (7) ou dudit rotateur (8) à effet non réciproque étant réglable.

20

2. Gyrolaser selon la revendication 1, caractérisé en ce que lorsque, l'élément optique (7) agit sur l'état de polarisation des modes contre-propageants de façon fixe, ledit élément est un polariseur linéaire dont la direction de polarisation n'est pas parallèle à la direction de gain maximal du milieu amplificateur.

25

3. Gyrolaser selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lorsque l'élément optique (7) agit sur l'état de polarisation des modes contre-propageants de façon fixe, ledit élément est une lame optique biréfringente.

30

4. Gyrolaser selon la revendication 3, caractérisé en ce que ledit élément optique (7) est une lame optique biréfringente obtenue à partir d'un matériau naturellement biréfringent.

5. Gyrolaser selon la revendication 4, caractérisé en ce que ledit élément optique (7) est en quartz.

6. Gyrolaser selon les revendication 1, caractérisé en ce que, lorsque l'élément optique (7) agit sur l'état de polarisation des modes contre-propageants de façon réglable, ledit élément est une lame optique à biréfringence électriquement contrôlée.

5

7. Gyrolaser selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lorsque le rotateur à effet non réciproque agit sur l'état de polarisation des modes contre-propageants de façon fixe, il comprend un matériau à effet Faraday polarisé par un aimant permanent.

10

8. Gyrolaser comportant au moins une cavité optique (1) en anneau, un milieu amplificateur (19) à l'état solide et un système d'asservissement (4, 42, 43), deux modes optiques (5, 6) dits contre-propageants pouvant se propager en sens inverse l'un de l'autre à l'intérieur de ladite cavité optique, le système d'asservissement étant destiné à asservir l'intensité des deux modes contre-propageants, caractérisé en ce que le milieu amplificateur (19) est anisotrope, que la cavité (1) est non planaire, c'est-à-dire que les modes contre-propageants ne se propagent pas dans un plan unique et que le système d'asservissement comporte au moins, à l'intérieur de la cavité (1), un rotateur à effet non réciproque (8) réglable.

15  
20

9. Gyrolaser selon les revendications 1 ou 8, caractérisé en ce que, lorsque le dispositif à effet non réciproque agit sur l'état de polarisation des modes contre-propageants de façon réglable, il comprend un matériau à effet Faraday polarisé par une bobine d'induction (73) commandée par une intensité électrique réglable.

25

10. Gyrolaser selon les revendications 7 ou 9, caractérisé en ce que le milieu amplificateur et le matériau à effet Faraday sont réalisés dans le même matériau.

30

11. Gyrolaser selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la cavité est monolithique.

35

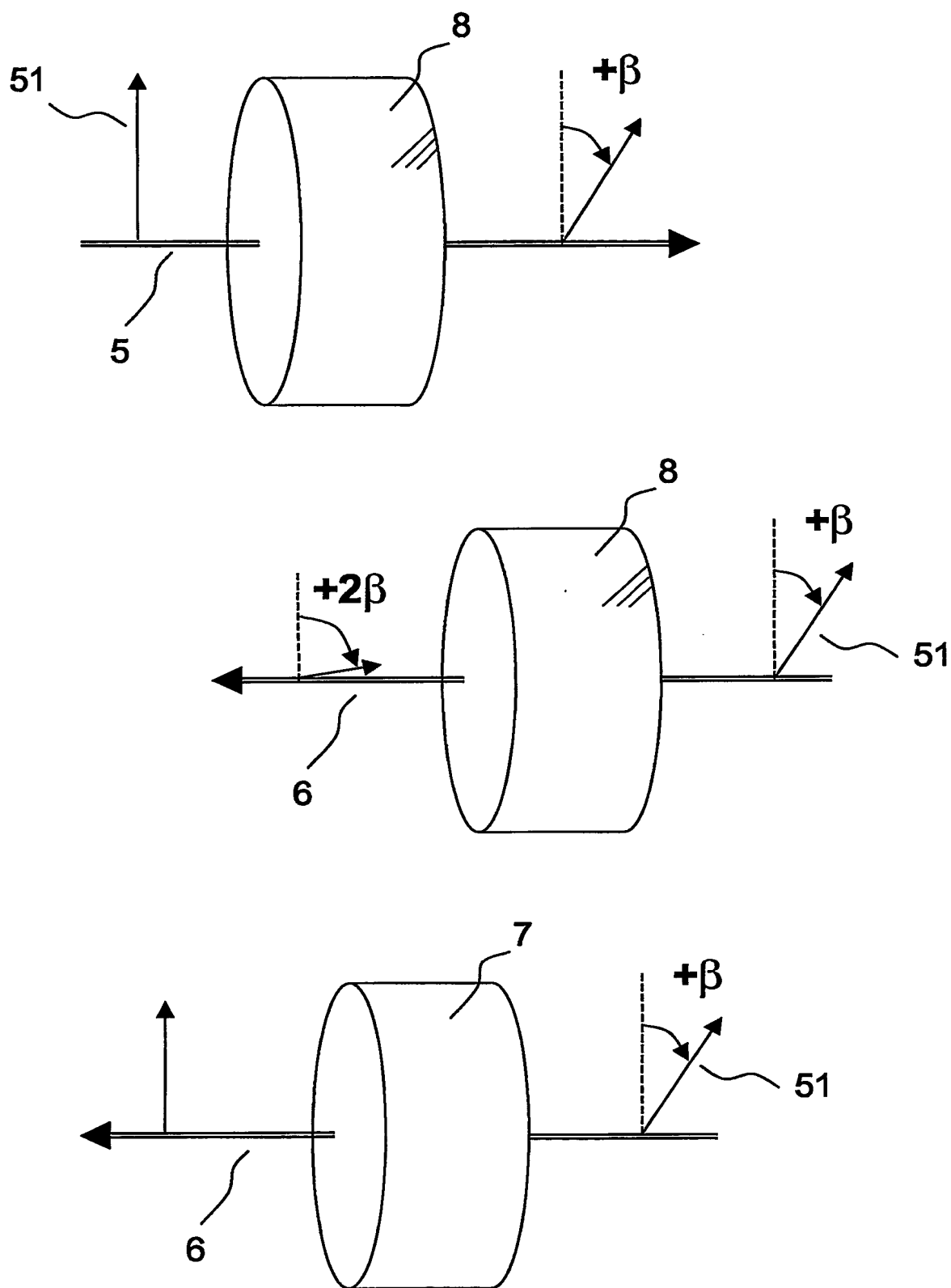


FIG.1

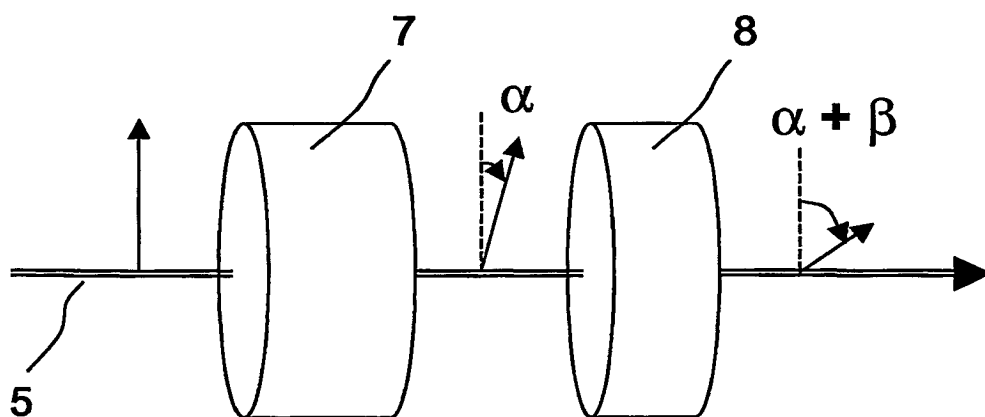


FIG. 2a

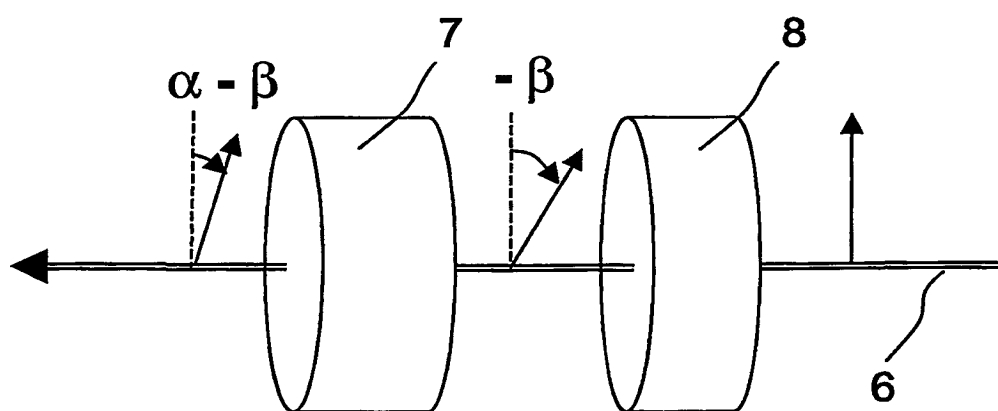


FIG. 2b

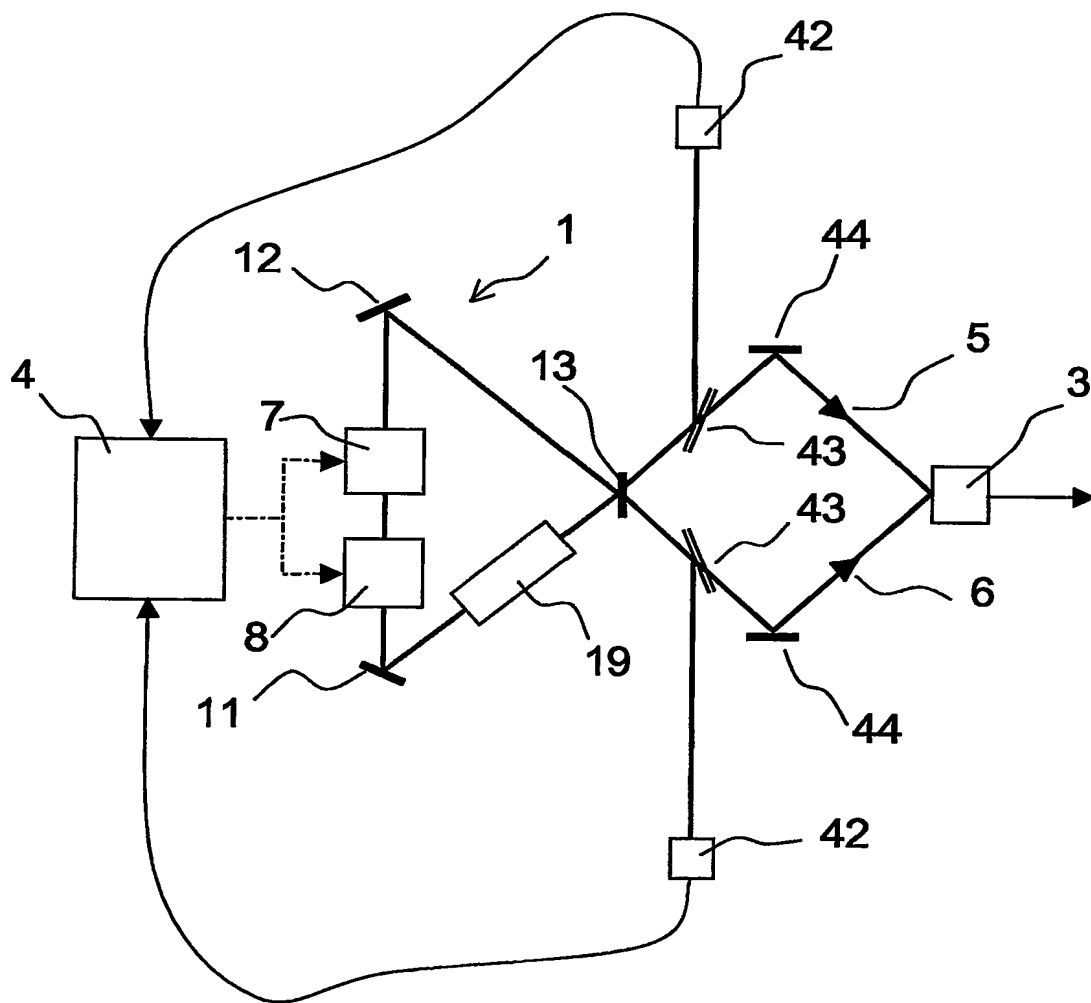
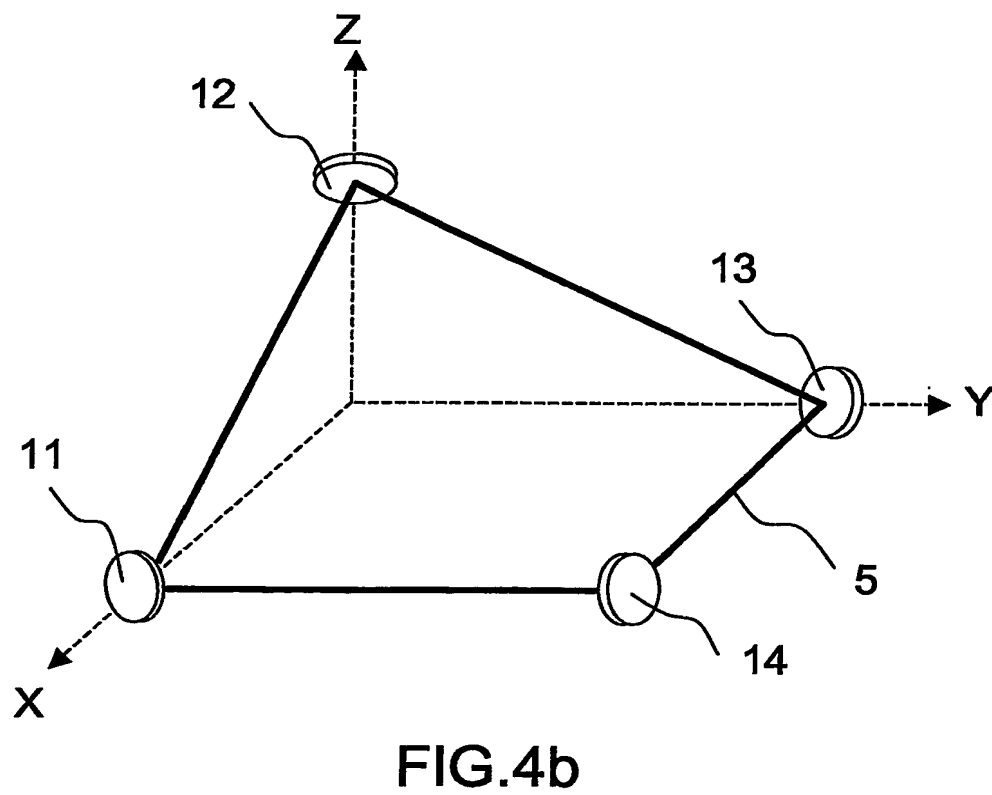
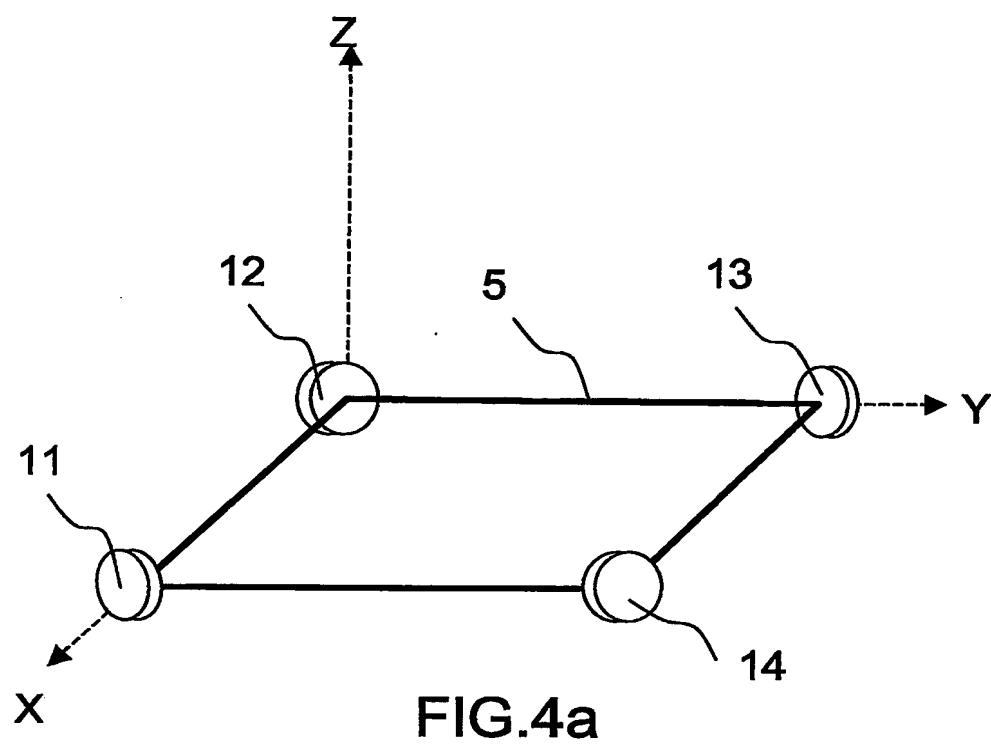


FIG.3



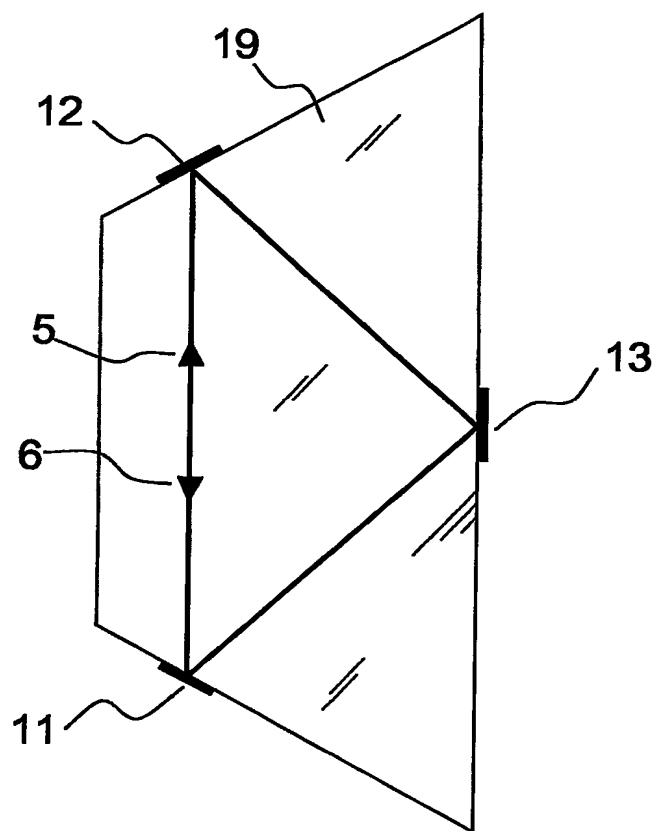


FIG.5

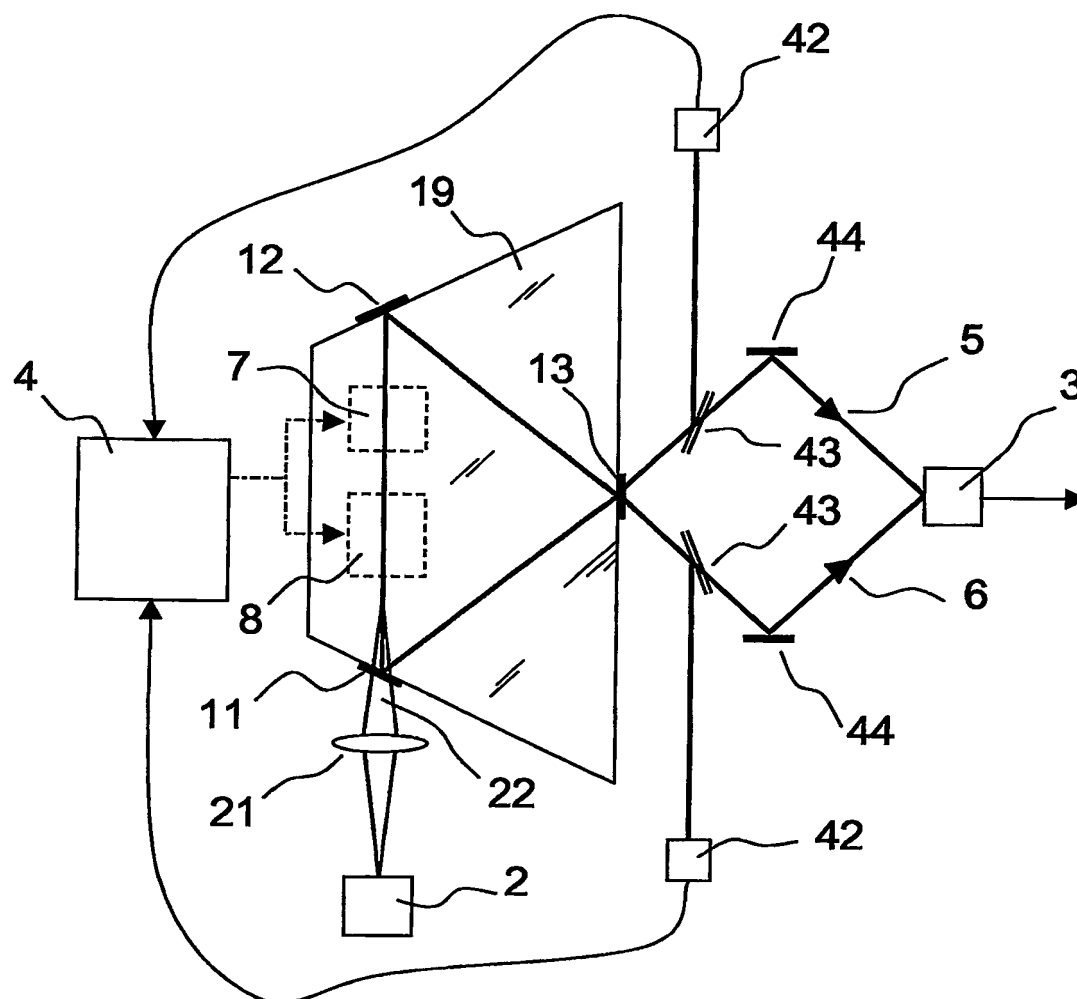


FIG.6

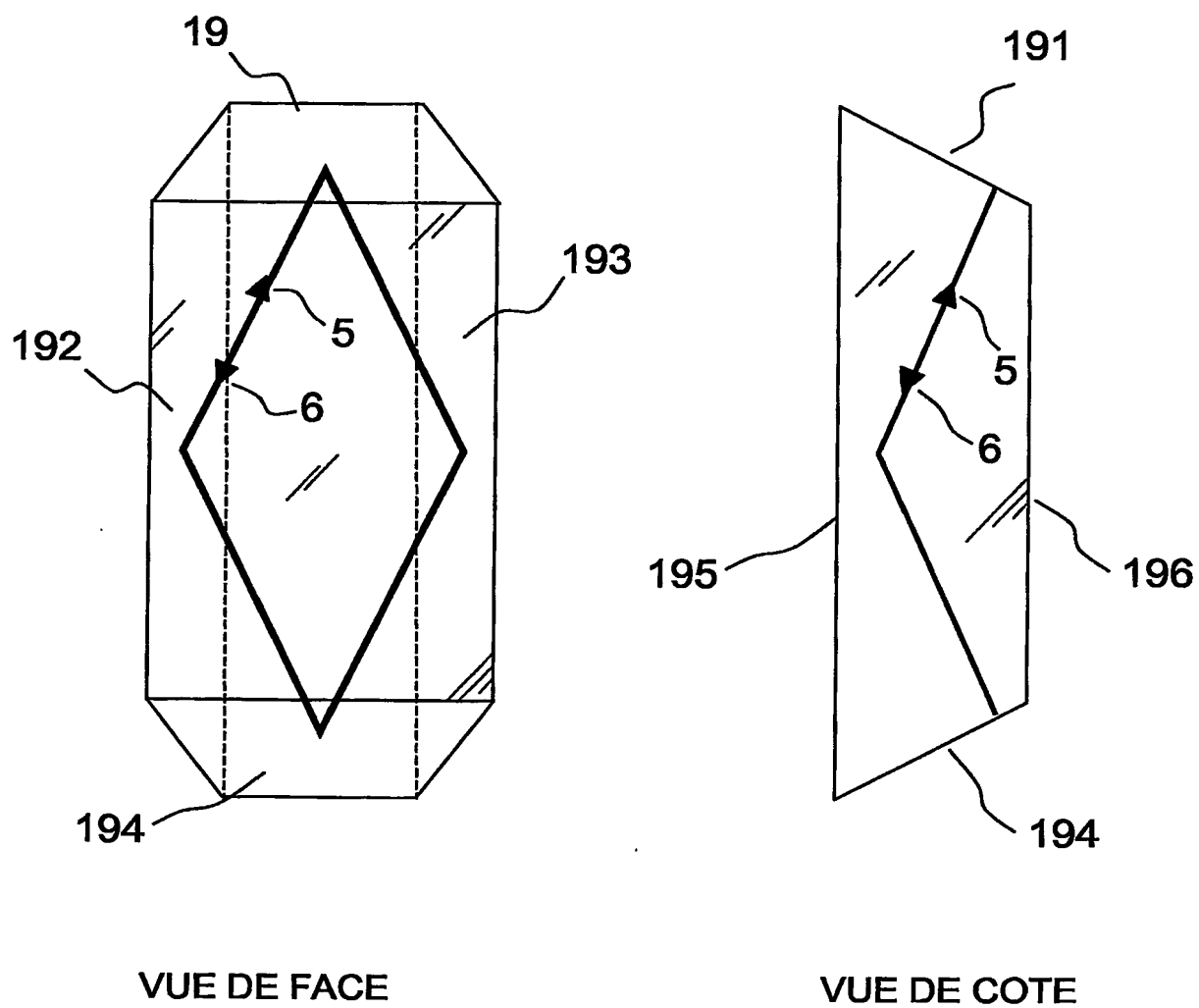


FIG.7

8/9

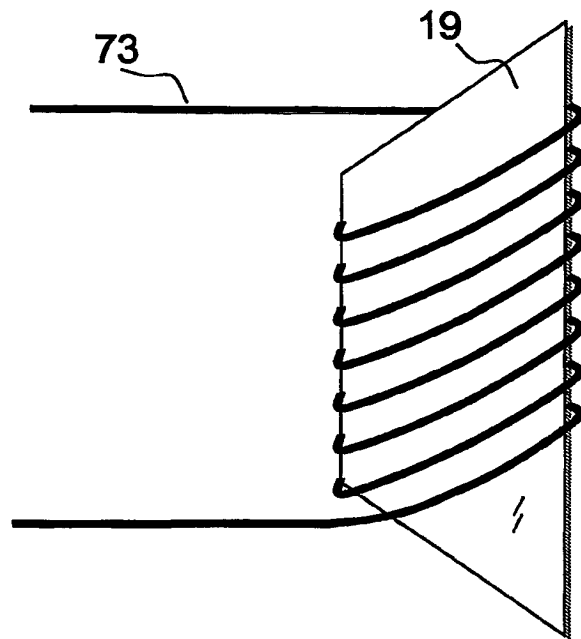


FIG. 8a

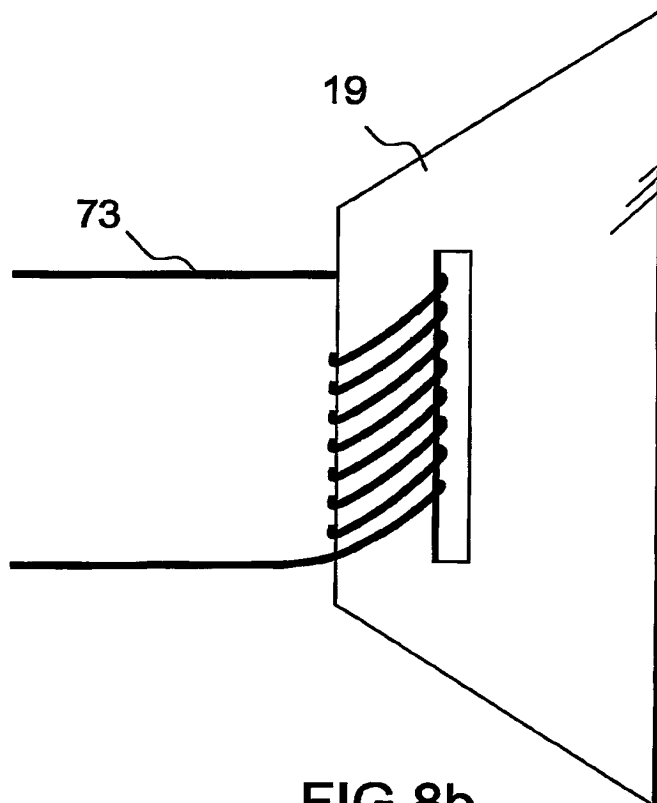


FIG. 8b

9/9

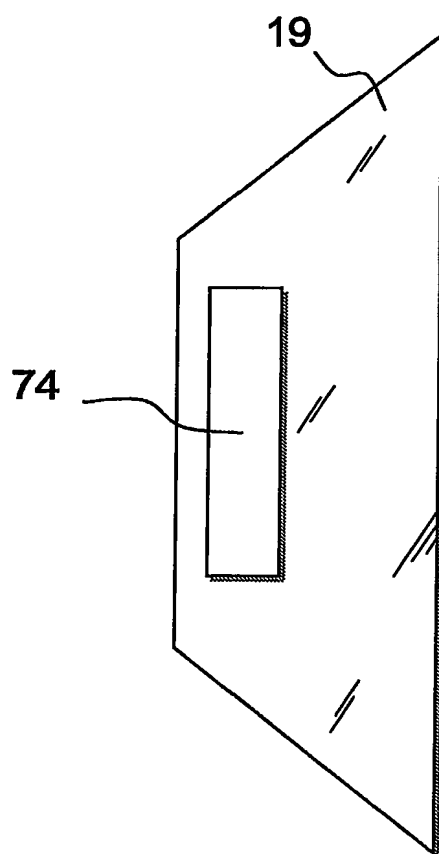


FIG.9

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/053062

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01C19/66

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01C H01S H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 3 862 803 A (YNTEMA GEORGE BUSEY ET AL) 28 January 1975 (1975-01-28) column 4, line 9 - column 6, line 13; figures 1,4,5	1-7
X	FR 2 128 617 A (RAYTHEON CO) 20 October 1972 (1972-10-20) page 4, line 30 - page 5, line 17; figure 1	1-7
A	US 5 276 701 A (SHIRASAKI MASATAKA) 4 January 1994 (1994-01-04) column 4, line 24 - column 8, line 29; figure 3	1-7
	----- -/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 March 2005

Date of mailing of the international search report

21/03/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Springer, 0

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/053062

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 751 425 A (TAZARTES DANIEL A ET AL) 12 May 1998 (1998-05-12) column 2, line 38 - column 5, line 12; figures 1,2 column 11, line 52 - line 60 -----	8-11
X	US 4 470 701 A (SMITH IRL W) 11 September 1984 (1984-09-11) column 5, line 4 - column 7, line 66; figure 1 -----	1-8

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/053062

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3862803	A	28-01-1975	NONE	
FR 2128617	A	20-10-1972	CA 980897 A1	30-12-1975
			DE 2209397 A1	14-09-1972
			FR 2128617 A5	20-10-1972
			GB 1388418 A	26-03-1975
			IT 948720 B	11-06-1973
			JP 52029912 B	04-08-1977
			US 3854819 A	17-12-1974
			US 3741657 A	26-06-1973
US 5276701	A	04-01-1994	JP 7135360 A	23-05-1995
US 5751425	A	12-05-1998	NONE	
US 4470701	A	11-09-1984	CA 1189600 A1	25-06-1985
			DE 3141175 A1	19-05-1982
			FR 2492522 A1	23-04-1982
			GB 2087638 A ,B	26-05-1982
			GB 2138585 A ,B	24-10-1984
			IT 1142901 B	15-10-1986
			JP 1577696 C	13-09-1990
			JP 2000870 B	09-01-1990
			JP 57096581 A	15-06-1982
			NL 8104726 A	17-05-1982

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/EP2004/053062

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 G01C19/66

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G01C H01S H01L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 3 862 803 A (YNTEMA GEORGE BUSEY ET AL) 28 janvier 1975 (1975-01-28) colonne 4, ligne 9 - colonne 6, ligne 13; figures 1,4,5	1-7
X	FR 2 128 617 A (RAYTHEON CO) 20 octobre 1972 (1972-10-20) page 4, ligne 30 - page 5, ligne 17; figure 1	1-7
A	US 5 276 701 A (SHIRASAKI MASATAKA) 4 janvier 1994 (1994-01-04) colonne 4, ligne 24 - colonne 8, ligne 29; figure 3	1-7

-/-

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

7 mars 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

21/03/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Springer, 0

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No  
PCT/EP2004/053062

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 5 751 425 A (TAZARTES DANIEL A ET AL) 12 mai 1998 (1998-05-12) colonne 2, ligne 38 - colonne 5, ligne 12; figures 1,2 colonne 11, ligne 52 - ligne 60 -----	8-11
X	US 4 470 701 A (SMITH IRL W) 11 septembre 1984 (1984-09-11) colonne 5, ligne 4 - colonne 7, ligne 66; figure 1 -----	1-8

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/EP2004/053062

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 3862803	A	28-01-1975	AUCUN	
FR 2128617	A	20-10-1972	CA 980897 A1	30-12-1975
			DE 2209397 A1	14-09-1972
			FR 2128617 A5	20-10-1972
			GB 1388418 A	26-03-1975
			IT 948720 B	11-06-1973
			JP 52029912 B	04-08-1977
			US 3854819 A	17-12-1974
			US 3741657 A	26-06-1973
US 5276701	A	04-01-1994	JP 7135360 A	23-05-1995
US 5751425	A	12-05-1998	AUCUN	
US 4470701	A	11-09-1984	CA 1189600 A1	25-06-1985
			DE 3141175 A1	19-05-1982
			FR 2492522 A1	23-04-1982
			GB 2087638 A ,B	26-05-1982
			GB 2138585 A ,B	24-10-1984
			IT 1142901 B	15-10-1986
			JP 1577696 C	13-09-1990
			JP 2000870 B	09-01-1990
			JP 57096581 A	15-06-1982
			NL 8104726 A	17-05-1982